

TRABAJO FINAL
CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN APLICACIONES
TECNOLÓGICAS DE LA ENERGÍA NUCLEAR

**Análisis de variables de proceso, disparo y
condicionamiento del sistema de refrigeración
de emergencia del núcleo- ECC**

Matias Germán Scolari

Director: Ing. Pablo Ariel Olivera

Diciembre de 2017

Comisión Nacional de Energía Atómica
Universidad Nacional de Cuyo (Instituto Balseiro)
Universidad de Buenos Aires (Facultad de Ingeniería)

**TESIS CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN
APLICACIONES TECNOLÓGICAS DE LA ENERGÍA
NUCLEAR**

**ANÁLISIS DE VARIABLES DE PROCESO, DISPARO
Y CONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE EMERGENCIA DEL NÚCLEO-
ECC**

M. G. Scolari
Estudiante

Ing. P.A. Olivera
Director

Ing. P. García
Co-director

Miembros del Jurado

Dr. C. Gho (Centro Atómico Bariloche, CNEA)

Dr. M. Chocrón (Centro Atómico Constituyentes, CNEA)

23 de Noviembre de 2019

Gerencia PEV - Central Nuclear Embalse

Instituto Balseiro
Universidad Nacional de Cuyo
Comisión Nacional de Energía Atómica
Argentina

A mi familia, por brindarme las bases y
los valores que llevo siempre conmigo.

A todas las personas que me acompañaron
en este camino.

A mi compañera de vida, por su apoyo
incondicional en todo momento.

Por una educación pública, gratuita
y popular como motor de
transformación social.

Índice de abreviaturas

AP Alta Presión.

BP Baja Presión.

CEATEN Carrera de Especialización en Aplicaciones Tecnológicas de la Energía Nuclear.

CND Componentes Nacionales Declarados.

CNEA Comisión Nacional de Energía Atómica.

CNE Central Nuclear Embalse.

E/R Edificio del reactor

ECC Emergency Coolant Core (Sistema de Refrigeración de Emergencia del Núcleo).

Flowsheet Diagrama de flujo.

GV Generador de Vapor.

I&C Instrumentación y Control.

LOCA Lost of Coolant Accident (Accidente de pérdida de refrigerante).

MP Media Presión.

NA-SA Nucleoeléctrica Argentina S.A.

PEV Proyecto de Extensión de Vida.

SPTC Sistema Primario de Transporte de Calor.

Índice de contenidos

Índice de abreviaturas	v
Índice de contenidos	vii
Índice de figuras	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
1. La Energía Nuclear en Argentina	1
1.1. Generación Nucleoeléctrica	3
1.2. Central Nuclear Embalse	4
1.3. Características técnicas de la CNE	4
1.4. Proyecto de extensión de vida	4
2. La importancia de la Seguridad Nuclear	7
2.1. Análisis de los sistemas	7
2.1.1. Defensa en profundidad	8
2.2. Sistemas especiales de seguridad en el reactor	8
2.2.1. Criterios aplicados a los sistemas de seguridad	10
3. Sistema de refrigeración de emergencia del núcleo	11
3.1. Breve descripción del sistema	11
3.2. Lazos de instrumentación involucrados	14
3.2.1. P-1 - Medición de baja presión en el lazo 1 del SPTC	14
3.2.2. P-2 - Medición de baja presión en el lazo 2 del SPTC	14
3.2.3. P-201 - Medición de baja presión en el lazo 1 del SPTC	14
3.2.4. P-202 - Medición de baja presión en el lazo 2 del SPTC	14
3.2.5. P-301 - Medición de baja presión sostenida en el lazo 1 del SPTC	15
3.2.6. P-302 - Medición de baja presión sostenida en el lazo 2 del SPTC	15
3.2.7. P-3 - Medición de alta presión en el E/R	15

3.2.8.	L-8 - Medición de nivel del tanque de agua de rociado	15
3.2.9.	L-11 y L-12 - Medición de nivel del sumidero de recuperación . .	16
3.2.10.	L-23 - Nivel de agua en los tanques de Alta Presión	16
3.2.11.	L-203 - Medición de nivel del moderador	16
3.3.	Breve descripción de funcionamiento	16
3.3.1.	Iniciación	16
3.3.2.	Inyección de agua a alta presión	17
3.3.3.	Inyección de agua a media presión	18
3.3.4.	Inyección de agua a baja presión	18
3.4.	Posibles eventos que disparan el sistema ECC	18
3.5.	Modificaciones en el marco del PEV	19
4.	Desarrollo del trabajo de tesis en la CNE	21
4.1.	Una solución de importancia para el PEV	21
4.1.1.	Un software como herramienta de seguimiento de lazos	22
4.2.	Recolección de información para el desarrollo	23
4.3.	Diseño de un software ergonómico	24
4.3.1.	Pantalla de inicio	25
4.3.2.	Búsqueda por Señal de Disparo	25
4.3.3.	Búsqueda por TAG del Hilo	26
4.3.4.	Modo Editor	27
4.4.	Lazos de instrumentación relevados	29
4.5.	Análisis de lazo a través del Software (P-301)	30
4.5.1.	Información básica del lazo	30
4.5.2.	Planos y Diagramas	31
4.5.3.	Instrumentos	37
4.5.4.	Hilos	38
4.6.	Aplicación práctica	39
5.	Cierre del trabajo final	41
5.1.	Conclusión de las tareas realizadas	41
5.2.	El plan nuclear argentino desde adentro	41
	Bibliografía	43
	Agradecimientos	45

Índice de figuras

1.1. Foto – Inauguración de reactor de investigación RA-6	1
1.2. Foto – Finalización de trabajos de la CNA II	2
1.3. Fotos de Centrales Nucleares Atucha I y II	3
1.4. Imagen aérea de la Central Nuclear Embalse	4
1.5. Fotos de trabajos durante el PEV	5
3.1. Diagrama general del sistema ECC	13
3.2. Esquema Lógico del ECC	17
4.1. Wiring List de instrumento LT-8K	22
4.2. Software – Pantalla de Inicio	25
4.3. Software – Búsqueda por señal de disparo	26
4.4. Software – Resultados de búsqueda por señal de disparo	27
4.5. Software – Búsqueda por TAG del Hilo	27
4.6. Software – Resultados de la búsqueda por TAG del Hilo	28
4.7. Software – Modo Editor	29
4.8. Software – Detalles de la señal P-301	31
4.9. Plano Eléctrico (Parcial) de Señal P-301	32
4.10. Diagrama (Parcial) de hilos (sin anunciación) de señal P-301	34
4.11. Diagrama (parcial) de hilos de anunciación de señal P-301	36
4.12. Plano (Parcial) del circuito de Test de señal P-301	37
4.13. Software – Instrumentos del lazo P-301	38
4.14. Software – Hilos del lazo P-301	38

Resumen

El presente informe de tesis reporta las actividades realizadas como parte del trabajo final de la Carrera de Especialización en Aplicaciones Tecnológicas de la Energía Nuclear (CEATEN). Las mismas se llevaron a cabo de manera presencial en la Central Nuclear Embalse, en los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2017.

El objetivo fue generar una herramienta que permita el seguimiento de los lazos de control, condicionamiento y disparo involucrados en el funcionamiento del Sistema de refrigeración de emergencia del núcleo (ECC). Esto implica la generación de reportes organizados por hilos y por lazos, y además la sistematización de planos (originales y/o modificados) para el rápido acceso desde un único lugar. Esta documentación generada, se utilizará posteriormente para realizar la prueba de lazos de control durante los trabajos de extensión de vida de la Central Nuclear Embalse (CNE).

Cabe destacar que en el desarrollo del presente informe se realiza una breve reseña de la energía nuclear en nuestro país, y un análisis de los sistemas de seguridad presentes en la CNE profundizando en el sistema de interés (ECC), para posteriormente proceder a detallar sobre las tareas desarrolladas.

Palabras clave: CEATEN, ENERGÍA NUCLEAR, REACTOR DE POTENCIA, REFRIGERACIÓN DE EMERGENCIA DE NÚCLEO, PRUEBA DE LAZOS, INSTRUMENTACIÓN, CENTRAL NUCLEAR EMBALSE, INSTITUTO BALSEIRO, COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Abstract

This thesis report informs the activities developed as part of the Final Work in the Degree "Specialization in technological applications of Nuclear Energy" (CEATEN). Those works were developed in person in Embalse Nuclear Power Plant, between October and December 2019.

The objective was generate a tool who allows monitoring the control, conditioning and triggering loops involves in the operation of the Emergency Coolant Core System (ECC). This implies the generation of organized reports and the systematization of plains (originals and modified) for quick access from a single place. This generated documentation will be used later to test the control loops during the life extension works of the Nuclear Power Plant.

In the development of this report its included a brief review of Nuclear Energy in Argentina. Also its included an analysis of security systems in Embalse Nuclear Power Plant, with an special revision in the system of interest (ECC). After that, the report proceed to detail about the tasks developed.

Keywords: CEATEN, NUCLEAR ENERGY, POWER REACTOR, EMERGENCY COOLANT CORE, CENTRAL NUCLEAR EMBALSE, INSTITUTO BALSEIRO, COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Capítulo 1

La Energía Nuclear en Argentina

Resulta difícil analizar la historia de la energía nuclear en Argentina sin remitirse a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). El 31 de mayo de 1950, mediante el Decreto N° 10.936/50, el Presidente Juan Domingo Perón crea la Comisión Nacional de Energía Atómica. Desde entonces, el organismo se dedicó al estudio, al desarrollo y a las aplicaciones en todos los aspectos vinculados con la utilización pacífica de la energía nuclear.



Figura 1.1: Foto de la inauguración del reactor de investigación y docencia RA-6, en el Centro Atómico Bariloche, año 1982

El campo nuclear se empezó a desarrollar en el país con la formación profesional en las ciencias y tecnologías asociadas; luego, se crearon laboratorios y se iniciaron actividades específicas, como la radioquímica, la metalurgia y la minería del uranio. Posteriormente, se consolidaron actividades específicas para la construcción y operación de reactores de investigación y sus combustibles, la producción de radioisótopos y el empleo de las radiaciones ionizantes para diagnóstico y tratamiento médico. Se alcanzó la madurez en la temática con el acceso a la nucleoelectricidad (que llegó a producir, con

solo 2 centrales, el 8 % de la energía eléctrica del país), lo que implicó la construcción y operación de centrales de potencia y el dominio del ciclo de combustible.[1]

Todas las actividades vinculadas a la energía nuclear se encontraron bajo la órbita de la CNEA hasta 1994, año en que el Poder Ejecutivo Nacional emite el Decreto N°1540/14, creando la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), empresa que tendría como función la legislación y regulación de las actividades nucleares, y también Nucleoeléctrica Argentina S.A (NA-SA), empresa que adquiere todos los activos de CNEA en materia de generación de energía eléctrica. El objetivo final de tal reordenamiento fue la privatización de la generación nucleoelectrica (aunque la venta de acciones de NA-SA a privados finalmente no se concretara), en consonancia con las políticas de privatización, desregulación y desmantelamiento del sector energético publico de la década de 1990.

La actividad del sector nuclear se mantuvo latente hasta 2006, momento en que el entonces Presidente Nestor Kirchner anuncia la reactivación del Plan Nuclear Argentino. Los principales anuncios fueron realizados por el gobierno nacional, a través del Ministerio de Planificación Federal. Esto significó un renacimiento en una institución que llevaba años sin recibir inversiones ni incorporar personal, y tras los multiples avances, se valora aun más la decisión política de apostar a un sector estratégico como lo es el sector Nuclear. Cabe destacar que este hecho significó, entre otros, la finalización de la Central Nuclear Atucha II, la reactivación del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu, y la decisión de llevar adelante la extensión de vida a la Central Nuclear Embalse.



Figura 1.2: Foto de obreros realizando tareas para la finalización de la CNA II, 2011

El cambio en la conducción política a finales de 2015 modificó considerablemente las prioridades en materia de abastecimiento eléctrico, apostando a las energías renovables pero no así a la industria nacional (la participación de las industrias nacionales en materia de renovables es baja, afectada por la apertura desregulada de importaciones). Cabe destacar que el promedio de Componentes Nacionales Declarados (CND) en los 8 proyectos eólicos aprobados durante la convocatoria RenovAr 2.0 fue de 20,6 %, mientras que para los 12 proyectos solares adjudicados desciende a 18,5 % [2]. Aunque

el plan nuclear quedo en segundo plano, desde el sector se espera que el gobierno lleve adelante los proyectos de la cuarta y quinta central para fortalecer el sistema eléctrico interconectado, y fundamentalmente para no perder las capacidades desarrolladas y el capital humano como ya sucedió en la ultima década del siglo XX.

1.1. Generación Nucleoeléctrica

En materia de nucleoelectricidad, la Argentina posee 3 reactores de potencia para la generación de energía: Central Nuclear Embalse, Central Nuclear Atucha I (Central Nuclear Presidente J.D. Perón) y Central Nuclear Atucha II (Central Nuclear N.C. Kirchner)(Ver figura 1.3).

La Central Nuclear Atucha I fue conectada al Sistema Eléctrico Nacional el 19 de marzo de 1974 y comenzó su producción comercial el 24 de junio de ese mismo año, convirtiéndose en la primera central nuclear de América Latina. Atucha I está ubicada sobre la margen derecha del Río Paraná de las Palmas, a 100 km de la ciudad de Buenos Aires en la localidad de Lima, Partido de Zárate. Actualmente cuenta con una potencia eléctrica bruta de 362 megavatios eléctricos y emplea como combustible uranio levemente enriquecido al 0,85 %.

La Central Nuclear Atucha II se encuentra sobre la margen derecha del Río Paraná, compartiendo el predio y la playa de maniobras con la Central Atucha I. La piedra fundacional de esta central se colocó en 1982, y en 1994 se paralizó hasta su reactivación en 2006. Atucha II alcanzó su primera criticidad el 3 de junio de 2014, y el día 27 de ese mismo mes se sincronizó su generador al Sistema Interconectado Nacional.



(a) Imagen aérea CNA I (derecha) y CNA II (izquierda) (b) Edificio de Reactor Central Nuclear Atucha II

Figura 1.3: Centrales Nucleares en Lima

1.2. Central Nuclear Embalse

La CNE es una central nuclear de producción de energía eléctrica, que se encuentra situada en la localidad de Embalse, provincia de Córdoba. Dicha central se encuentra en funcionamiento desde 1984, aportando más de 600 [MW] eléctricos al Sistema Interconectado Nacional. Actualmente, la CNE como así también el resto de las centrales nucleoelectricas del país, es operada por Nucleoelectrica Argentina Sociedad Anónima.



Figura 1.4: Imagen aérea de la Central Nuclear Embalse

1.3. Características técnicas de la CNE

La CNE posee un único reactor, del tipo CANDU 6. Este diseño de origen canadiense es del tipo PHWR, es decir, que utiliza uranio natural como combustible, y agua pesada como refrigerante y moderador para su funcionamiento. Se compone de 380 tubos de presión situados horizontalmente, que contienen los elementos combustibles y circulan el refrigerante en 2 circuitos independientes. La potencia bruta de la CNE es 648 [MW] eléctricos, y restando los consumos internos, la potencia neta entregada se aproxima a 600 [MW].

Una particularidad de la CNE, es que además de generar energía eléctrica, produce Cobalto 60 como un subproducto de funcionamiento. Este radioisótopo tiene una amplia utilización en aplicaciones medicas e industriales.

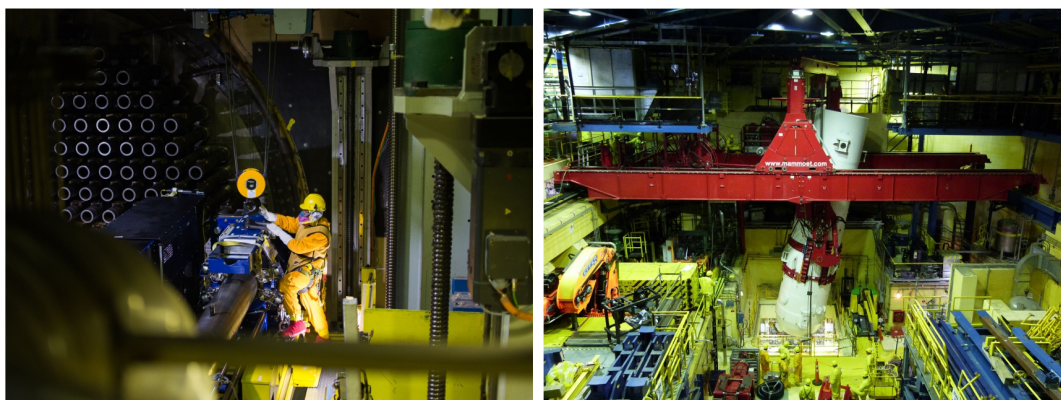
1.4. Proyecto de extensión de vida

El Proyecto de Extensión de Vida (PEV) de la Central Nuclear Embalse es un proceso de reacondicionamiento que le permitirá operar por un nuevo ciclo de 30 años.

Además, la central incrementará su potencia a 683 MW eléctricos, es decir, un 6 % más que su capacidad de generación actual.

Las principales actividades del PEV son el cambio de los tubos de presión, los generadores de vapor, las computadoras de proceso y la repotenciación de la Planta. Además, se realizaron grandes modificaciones en los sistemas relacionados a la seguridad, con el objetivo de aumentar su confiabilidad. Entre ellas podemos mencionar la adición de un sistema de alimentación eléctrica calificada sísmicamente para el ECC, la adición de Instrumentación y Control para alarmas adicionales o triplicación de señales, automatización de algunos procesos y reemplazo de componentes. En el punto 3.5 se mencionan con mayor detalle las modificaciones realizadas en el marco del PEV, relacionadas específicamente al sistema de refrigeración de emergencia del núcleo.

El proceso de extensión de vida consta de 3 etapas. La primera fase, denominada de evaluación de vida o evaluación de estado, consiste en examinar el estado de los componentes de la central. En la segunda fase se verifican los cambios a realizar y se adquieren los equipos y materiales necesarios. La tercera etapa implica la parada de la planta y la realización de los trabajos. Actualmente se está trabajando en esta última etapa, a la espera de que la CNE se encuentre funcionando a mediados de 2018.



(a) Reemplazo de tubos de presión

(b) Reemplazo de generadores de vapor

Figura 1.5: Actividades realizadas durante el Proyecto de Extensión de Vida

Capítulo 2

La importancia de la Seguridad Nuclear

Como en toda gran industria, e inclusive con mayor énfasis, la seguridad ocupa un rol protagónico en las instalaciones nucleares, buscando reducir al máximo el riesgo de accidentes y daños en bienes y personas. De esta forma, se establecen diferentes sistemas de seguridad, que tienen como objetivo proteger al público de descargas peligrosas de radiactividad. El grado de protección, establecido por el número de accidentes que producen descargas por año, y la descarga de radiactividad por accidente, son objeto de diseño de la central, los cuales son establecidos por la autoridad regulatoria.

Las salvaguardias contra diversos accidentes que pueden ocurrir en centrales nucleares se van implementando de manera evolutiva. Ello significa que cada vez que una nueva central recibe autorización de funcionamiento y se aprueba su análisis de seguridad, como norma general de ese momento se llega a una nueva definición del “grado de seguridad”.

2.1. Análisis de los sistemas

A fin de alcanzar los objetivos de seguridad propuestos, los cuales limitan:

- El régimen de descarga radiactiva (Cantidad de radiactividad liberada por accidente).
- El número anual permisible de accidentes.

todos los sistemas de procesos se diseñan para cumplir con los elevados estándares de ingeniería. Además, se diseñan “sistemas de seguridad” que incrementan o respaldan a los sistemas de procesos, en caso de una posible falla.

A simple vista podemos notar que existen diferentes clasificaciones de sistemas de acuerdo a su importancia en la seguridad. Así, podemos clasificarlos de la siguiente

manera:

Sistemas de Procesos Relacionados con la Seguridad Son sistemas en los cuales una falla podría causar directa o indirectamente una descarga radiactiva que exceda los límites establecidos por la autoridad normativa.

Sistemas Especiales de Seguridad Es un grupo de cuatro sistemas preparado especialmente para respaldar o proteger contra fallas a los sistemas (de proceso) relacionados con la seguridad.

Sistemas de Apoyo a la Seguridad Son los sistemas necesarios para respaldar el funcionamiento de todos los sistemas especiales de seguridad.

La base de la filosofía de protección contra descargas radiactivas es la llamada *defensa en profundidad*, estableciendo barreras de seguridad sucesivas e independientes para evitar el escape de radionucléidos. Bajo este criterio, cada falla postulada debe poseer por lo menos uno o más respaldos o métodos alternativos para detener una descarga radiactiva de la central.

2.1.1. Defensa en profundidad

El diseño de sistemas especiales de seguridad, cada día con mayores consideraciones, reducen la posibilidad de escapes de radiación al medio. El concepto de seguridad en profundidad deja establecidas cuatro barreras que detienen la propagación de descargas radiactivas a la población:

1. El material combustible y su revestimiento o vaina.
2. Los límites del Sistema Primario de Transporte de Calor (SPTC).
3. El sistema de contención, compuesto por el Edificio del Reactor (E/R), válvulas de aislamiento de contención y exclusas de aire.
4. La zona de exclusión, región que rodea a la central y donde se prohíbe la residencia permanente. Sobre la misma puede producirse la dispersión de material radiactivo.

2.2. Sistemas especiales de seguridad en el reactor

Como se mencionó en el punto 2.1, los sistemas especiales de seguridad se diseñan para respaldar y/o proteger contra fallas a los sistemas (de proceso) relacionados con la seguridad. A continuación se mencionan los sistemas especiales utilizados en la CNE, incluyendo un breve resumen de su alcance y funcionamiento.

Sistema de Parada de Emergencia N°1 Este sistema constituye la línea principal de defensa para la parada del reactor. Dispara el apagado del reactor al detectar indicaciones importantes de una falla de control de proceso.

El sistema utiliza barras de apagado (28 barras absorbentes de Cadmio) que caen por efecto de la gravedad para efectuar la parada. Se ha integrado un exceso de reactividad tal, que hasta 2 de las 28 barras pueden estar fuera de servicio antes de que el sistema se considere no disponible.

Para todos los circuitos detectores de fallas se utiliza el enfoque de canales independientes triplicados. Cada medición de canal tiene su propio suministro independiente de energía y se halla físicamente separado en su recorrido de cualquier sistema de seguridad del Grupo 2 ó de los sistemas del Grupo 1 que detectan los mismos parámetros con canales diferentes.

Sistema de Parada de Emergencia N°2 Este sistema constituye el respaldo para la parada del reactor. Cada canal controla una de dos válvulas sucesivas que se hallan sobre una línea que inyecta veneno líquido (absorbente neutronico a base de Gadolinio) al moderador cuando ambas válvulas se abren.

ECC Este sistema constituye la primera linea de defensa para el suministro de refrigerante al SPTC al producirse una falla en el mismo. Cuando se detecta muy baja presión en al menos 2 de 3 mediciones en el sistema de transporte de calor, los lazos del reactor se aíslan. Posteriormente actúa una lógica que inyecta agua al circuito de refrigeración con pérdida, pasando por las etapas de alta, media, y baja presión. En el punto 3 (pág.11) puede analizarse con mayor detalle el funcionamiento del ECC.

Contención El sistema de contención constituye la ultima linea de defensa dentro de la central contra la propagación de radiactividad como producto de una falla. En caso de existir una falla que exceda a los sistemas de seguridad, y supere todas las barreras de defensa previas, el sistema de Contención automáticamente cierra todas las aberturas, tuberías y conductos de ventilación mediante válvulas (Ver *Defensa en profundidad*, punto 2.1.1, pág.8).

La contención incluye un sistema de reducción de presión (Rociado), diseñado para absorber la energía producida por una pérdida de refrigerante del Sistema Primario de Transporte de Calor, al convertirse el refrigerante en vapor (flashing). De este modo se impide el aumento de presión dentro del E/R que puede poner en peligro la integridad de la contención.

2.2.1. Criterios aplicados a los sistemas de seguridad

Para cumplir con los estándares de seguridad buscados, donde se deben alcanzar niveles de indisponibilidad menores a 10^{-3} en los sistemas, se aplican ciertos criterios de diseño comunes a todos los sistemas de seguridad. Así, podemos mencionar:

1. Independencia: Cada sistema de seguridad está diseñado de forma tal que sea independiente de los sistemas de proceso, y de los demás sistemas de seguridad, en lo que refiere a suministro de energía, mediciones, como así también ubicación física.
2. Redundancia: Cada sistema de seguridad tiene mediciones redundantes, habitualmente triplicadas para cada variable de interés. Además, para cada una de las mediciones se asigna un canal o ruta separada.
3. Segregación (Separación física): A fin de disminuir las fallas de causa común, y para aumentar la confiabilidad del sistema, los sistemas especiales de seguridad se separan en dos grupos. El primer grupo incluye al sistema de parada N°1 y la refrigeración de emergencia del núcleo. Y el segundo grupo incluye el sistema de parada N°2 y los dispositivos de la contención.
4. Instalaciones para pruebas: Se incluyen circuitos auxiliares para someter a prueba todos los aspectos del sistema en la medida que sea posible. Generalmente las pruebas consisten en la inyección de señal a cada sensor individual produciendo el funcionamiento de la lógica del canal asociado.

Los sistemas de procesos, los cuales poseen una gran cantidad de certificaciones, sumados a los sistemas especiales de seguridad, los criterios de diseño empleados y la aplicación del concepto de *defensa en profundidad*, hacen de la CNE una instalación con altos estándares de seguridad.

Capítulo 3

Sistema de refrigeración de emergencia del núcleo

Si el combustible no es refrigerado de forma adecuada, puede dañar su revestimiento por un calentamiento excesivo, y liberar productos de fisión al Sistema Primario de Transporte de Calor (SPTC). Una falla en el combustible estando el SPTC intacto no es una falla grave, pero si la falla ocurre durante (o debido a) un accidente de pérdida de refrigerante (LOCA - Lost Of Coolant Accident) los productos de fisión serán liberados al Edificio del Reactor. Por esta razón es que se hace necesario un método para enfriar el combustible en caso de LOCA, evitando una falla en el elemento combustible. La refrigeración será necesaria hasta que:

- Se repare el sistema de transporte de calor.
- Se retire el combustible del reactor.
- El calor generado por el combustible no pueda causar un daño en su revestimiento.

Para contrarrestar esta situación existe el Sistema de Refrigeración de Emergencia del Núcleo (ECC). Dicho sistema especial de seguridad es la primera línea de defensa para el suministro de refrigerante al reactor y tiene como objetivo impedir la ocurrencia de fallas graves del combustible después de producido un LOCA.

3.1. Breve descripción del sistema

Subsistema de inyección de agua

El sistema de refrigeración de emergencia del núcleo se compone principalmente de un subsistema de inyección de agua, el cual se encarga de reponer inventario en el SPTC en caso de existir una falla de pérdida de refrigerante. Dicho subsistema actuará

de manera automática al detectar una despresurización en el SPTC, e inyectará agua liviana desde diferentes fuentes de acuerdo a las etapas de operación. Así podemos identificar:

Inyección a Alta Presión La inyección de inventario se realiza desde los tanques de agua del sistema de ECC de alta presión, mediante aire comprimido.

Inyección a Media Presión Se realiza desde el tanque de rociado (dousing), el cual se encuentra en el domo del edificio del reactor. El agua es impulsada con las bombas del sistema ECC.

Inyección a Baja Presión Este sistema entra en funcionamiento para un LOCA grande, donde se ha perdido una gran cantidad de refrigerante. El agua acumulada en el edificio del reactor se recupera utilizando bombas, se refrigera empleando un intercambiador de calor, y se inyecta nuevamente al SPTC.

Refrigeración rápida de los Generadores de Vapor

Cuando se produce un LOCA, el subsistema de inyección de agua mantendrá el SPTC lleno. Si los sistemas de recuperación normales son insuficientes, el agua circulará por el lazo del Sistema Primario de Transporte de Calor por convección natural (siempre que la temperatura secundaria del generador de vapor (GV) sea menor que la temperatura del SPTC). El calor será entonces transferido al lado secundario de los GV, proporcionando así la disipación de calor necesaria.

Suministro de agua de reposición

Para el llenado inicial de los tanques del sistema de ECC, se hace una conexión del sistema de agua desmineralizada a la succión de la bomba P3 (Ver Figura 3.1, página 13).

Discos de ruptura

Para la separación de las fases D2O/H2O se utilizan discos de ruptura, indicados en la Figura 3.1 (pág.13) como RD1 y RD2. La cañería aguas arriba de los discos de ruptura es llenada con H2O y las cañerías aguas abajo con D2O. Las cañerías deben estar repletas con agua para minimizar los golpes de ariete cuando se produce la ruptura de los discos. Las cañerías de ambos lados de los discos de ruptura poseen líneas de drenaje y venteo.

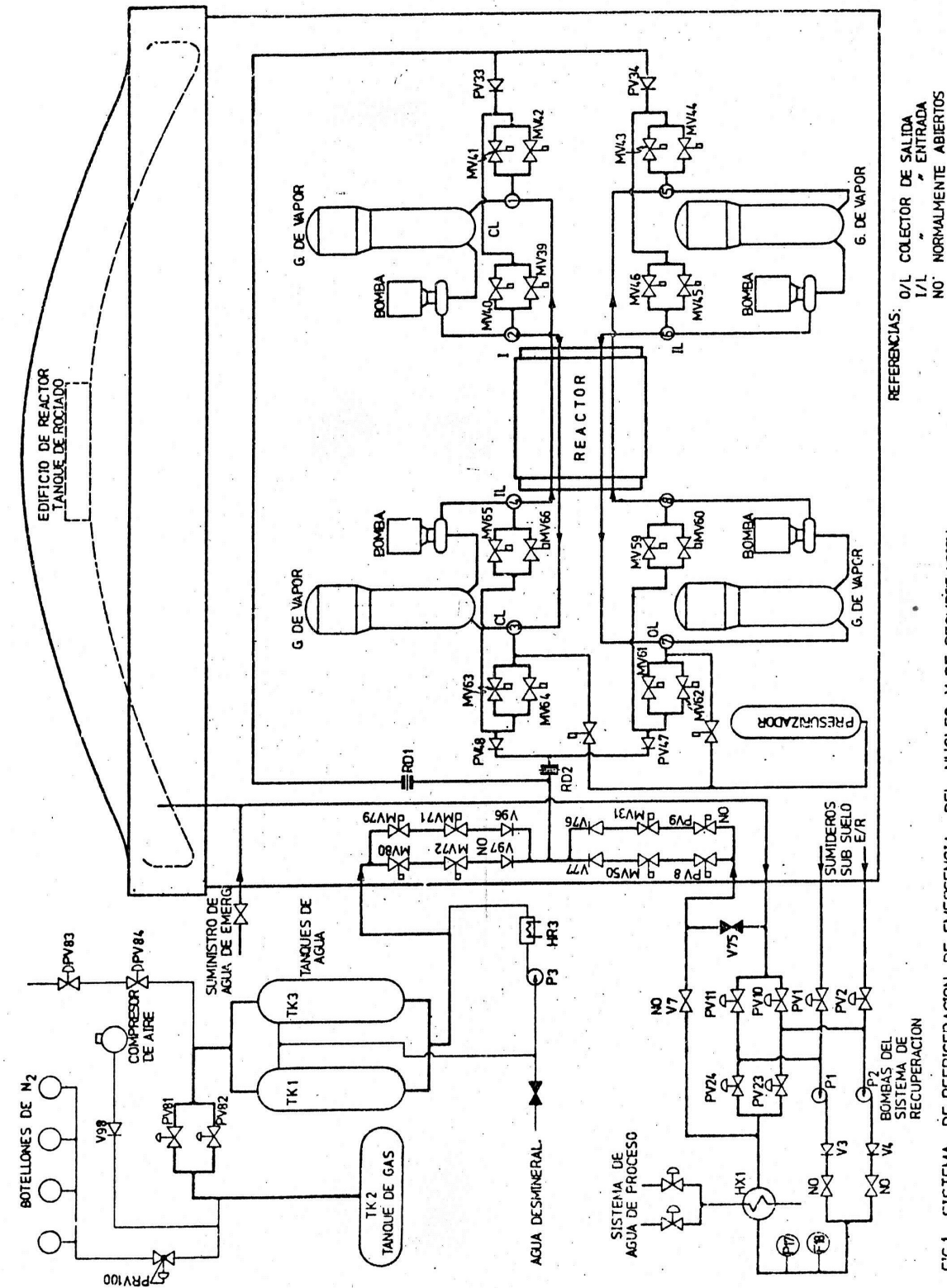


FIG.1 SISTEMA DE REFRIGERACION DE EMERGENCIA DEL NUCLEO Y DE RECUPERACION

Figura 3.1: Diagrama general del sistema ECC

3.2. Lazos de instrumentación involucrados

Para que el sistema en su conjunto opere correctamente, se requiere un gran número de lazos de instrumentación que releven en tiempo real el estado del núcleo del reactor. Esto implica la utilización de un amplio espectro de sensores, los cuales pueden dar señales de alarma, condicionamiento, o disparo de una secuencia en caso de detectar un indicio de falla.

Los lazos de instrumentación considerados más relevantes son los siguientes:

3.2.1. P-1 - Medición de baja presión en el lazo 1 del SPTC

La señal P-1 consta de la medición de presión en el lazo número 1 del Sistema Primario de Transporte de Calor. Se compone de 3 canales independientes nombrados K, L y M, que se encuentran situados en diferentes colectores del primario, específicamente en los colectores 1, 2 y 4 (La ubicación de los colectores puede verse en el diagrama de la figura 3.1, pág.13). La señal es de condicionamiento (Ver lógica de condicionamiento en la figura 3.2, pág.17), y entra en lógica de disparo cuando 2 de 3 canales (lógica 2/3) indican baja presión (Menor a 5.8 MPa) en el lazo 1 del SPTC.

3.2.2. P-2 - Medición de baja presión en el lazo 2 del SPTC

La señal P-2 es análoga a la señal P-1 (punto 3.2.1) para el lazo número 2 del SPTC. Pero a diferencia del anterior, sus canales se encuentran situados en los colectores 5, 6 y 8 (ver ubicación de colectores en el diagrama de la figura 3.1, pág.13). Al igual que P-1, la señal es de condicionamiento con una lógica 2/3, al detectar baja presión (Menor a 5.8 MPa).

3.2.3. P-201 - Medición de baja presión en el lazo 1 del SPTC

La señal P-201 realiza la medición de baja presión en el lazo 1 del SPTC. Está compuesta por los canales K, L y M, que se encuentran situados en el mismo lugar que los canales de la señal P-1 (Ver 3.2.1). Dicha señal es de Disparo (Ver lógica en la figura 3.2, pág.17), y actúa cuando detecta baja presión (Menor a 5.42 MPa) en el lazo. La acción que realiza al producirse el disparo, es cerrar las válvulas de aislación de los lazos del SPTC, quedando estos aislados y funcionando de forma independiente.

3.2.4. P-202 - Medición de baja presión en el lazo 2 del SPTC

La señal P-202 es análoga a la señal P-201 (punto 3.2.3) para el lazo número 2 del SPTC. Por lo que son señales del mismo tipo, y producen la misma acción al entrar en

lógica de disparo. La única diferencia radica en que la señal P-202 posee sus canales K, L y M ubicados en los colectores 5, 6 y 8 respectivamente.

3.2.5. P-301 - Medición de baja presión sostenida en el lazo 1 del SPTC

La señal P-301, al igual que la P-302, fue agregada durante el Proyecto de Extensión de Vida de la CNE. Dicha señal se compone de 3 canales (K, L y M) y realiza la medición de presión en el lazo 1 del SPTC. Es una señal de condicionamiento (Ver lógica en la figura 3.2, pág.17), y actúa cuando detecta una baja presión (menor a 5.8 MPa) sostenida por al menos 120 segundos, empleando una lógica 2/3. Cabe destacar que estos sensores fueron agregados con el propósito de permitir la detección de un LOCA pequeño en el reactor.

3.2.6. P-302 - Medición de baja presión sostenida en el lazo 2 del SPTC

Esta señal es analoga a P-301 (punto 3.2.5) para el lazo número 2 del SPTC. Por lo que son señales del mismo tipo, y producen la misma acción al entrar en lógica de disparo. La única diferencia radica en que la señal P-302 posee sus canales K, L y M ubicados en los colectores 5, 6 y 8 respectivamente.

3.2.7. P-3 - Medición de alta presión en el E/R

La señal P-3 mide la presión en el Edificio del Reactor. Dicha señal es de condicionamiento (Ver lógica en la figura 3.2, pág.17) y nos permite detectar un LOCA grande. Posee los canales K, L y M, y cada uno de ellos (independientes entre si) produce una alarma en la sala de control en caso de detectar alta presión en el E/R. En el caso de que 2 de 3 canales detecten alta presión (mayor a 345 kPa), la señal entra en lógica de disparo, y en caso de existir una alarma de baja presión en el SPTC anunciadas por las señales P-1 o P-2, se acciona automáticamente el sistema de refrigeración de emergencia.

3.2.8. L-8 - Medición de nivel del tanque de agua de rociado

Este lazo informa sobre el nivel de agua en el tanque de rociado. Aunque en el diseño original se trataba de una señal de proceso, tras las modificaciones en el marco del PEV pasa a ser una señal de disparo, que al medir un bajo nivel de agua en el tanque, hace la transferencia de media a baja presión de inyección de agua (Ver punto 3.3.4, pág.18). Hacer que la señal L-8 deje de ser únicamente una señal de alarma en

la sala de control, y pase a tener un accionamiento, significó la triplicación de la señal (Canales K, L y M independientes entre si), y la implementación de una lógica 2/3.

3.2.9. L-11 y L-12 - Medición de nivel del sumidero de recuperación

Estos lazos informan sobre el nivel de agua en el sumidero de recuperación y se vincula con el funcionamiento de las bombas de recuperación 3432-P1 y 3432-P2 (Ver ubicación en figura 3.1). Dichas señales tienen un único canal, y suministran información tanto a la sala de control principal, como a un panel local.

3.2.10. L-23 - Nivel de agua en los tanques de Alta Presión

La señal L-23 mide el nivel en los tanques de inyección de agua de alta presión, y opera como una señal de disparo, haciendo el traspaso de alta a media presión de inyección de agua cuando el nivel de los mismos desciende por debajo de un valor límite (ver punto 3.3.3). La misma se compone de 3 canales independientes (K, L y M) que detectan bajo nivel, y cuando 2 de los 3 canales indican bajo nivel, da alarma y además disparo de cierre de las válvulas de aislamiento de alta presión (válvulas MV79 y MV80, ver en el diagrama de la figura 3.1).

3.2.11. L-203 - Medición de nivel del moderador

La señal L-203 mide el nivel del moderador, y opera como una señal de condicionamiento. La misma permite detectar fallas internas en el reactor, como por ejemplo, la falla de un tubo de presión que descargue refrigerante en el interior de la calandria. Posee 3 canales independientes (K, L y M), y cuando 2 de 3 indican un alto nivel del moderador, da señal de condicionamiento a la lógica del ECC (Ver diagrama lógico en la figura 3.2).

3.3. Breve descripción de funcionamiento

El accionamiento del sistema es seguido por tres etapas de operación, las cuales responden a un sistema lógico como el que se muestra en la Figura 3.2.

3.3.1. Iniciación

Luego del accidente de pérdida de refrigerante, el SPTC se despresuriza. Esta caída hace que el agua del sistema de alta presión del ECC pueda penetrar en el sistema primario de refrigeración, y esta operación es conocida como la fase de descarga. El

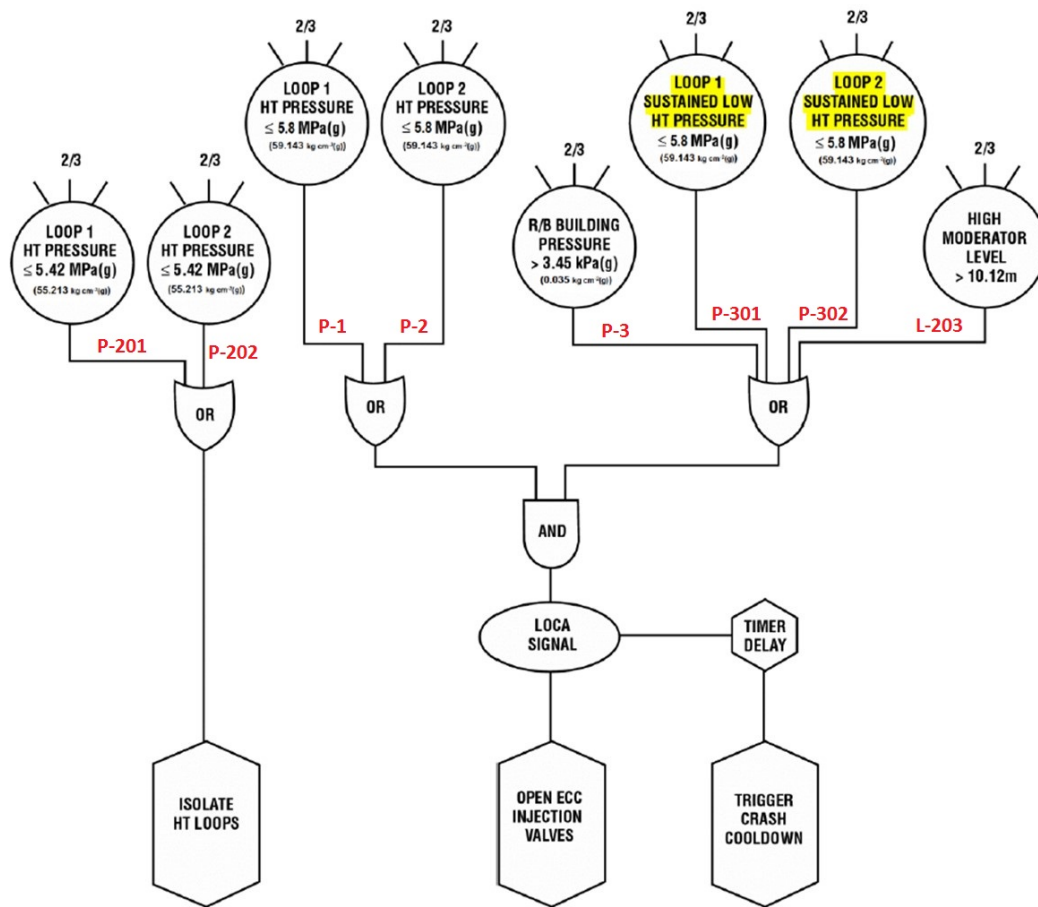


Figura 3.2: Esquema de la Lógica de funcionamiento del Sistema ECC

tiempo de duración de la fase varía desde unos pocos segundos a varios minutos, en función de la severidad de la falla.

Cuando 2 de cada 3 mediciones de presión (P-201 y P-202) de los colectores indican que la presión ha caído por debajo de 5.52 MPa, se cierran las válvulas de aislamiento de los circuitos del SPTC. Esto hace que los dos circuitos que componen el SPTC se comporten de forma independiente, evitando que una falla en uno de ellos afecte a ambos.

3.3.2. Inyección de agua a alta presión

Luego de dispararse la señal de iniciación del ECC, todas las válvulas del sistema se abren simultáneamente, y los discos de ruptura se rompen para permitir el ingreso de refrigerante. A medida que cae la presión, el agua fluye hacia el interior de los colectores del sistema de transporte de calor. Dicha inyección se realiza únicamente al circuito que presenta la falla, por el contrario, el loop sano permanece aislado y continua refrigerando el núcleo de forma normal. Bajo la misma lógica, se iniciará el enfriamiento rápido de los GVs (ver punto 3.1, pág.12) con un retardo de 30 segundos. La inyección de agua a alta presión (AP) llega a su fin cuando el nivel de agua en los

tanques desciende por debajo de un valor límite. Para esto disponemos de un medidor de nivel (Señal L-23, ver punto 3.2.10), el cual genera la señal de cierre de las válvulas de los tanques de alta presión, y da lugar a la inyección de agua a media presión desde el tanque de agua de rociado.

3.3.3. Inyección de agua a media presión

La inyección a media presión (MP) comienza de forma automática al finalizar la etapa de alta (como se menciona en el punto 3.3.2, pág.17). La bomba del sistema ECC inyecta agua desde el tanque de rociado (dousing) a todos los colectores del reactor. Tanto la etapa de AP como de MP son totalmente automáticas y funcionan un tiempo mínimo de 15 minutos. Al igual que en el caso anterior, el aporte de refrigerante se realiza en el circuito que presenta la falla.

3.3.4. Inyección de agua a baja presión

La inyección de agua a Baja Presión (BP) es la última etapa, y debe estar preparada para funcionar durante varias horas en caso de requerirse. Esta etapa consta en bombear el refrigerante descargado, desde la parte más baja del edificio, a través del intercambiador de calor del ECC nuevamente hacia los colectores del reactor. A diferencia de las etapas anteriores, la inyección de agua a baja presión es accionada por los operadores, que la inician antes de que el tanque de rociado se descargue en su totalidad. Cabe destacar que al finalizar los trabajos en el marco del PEV, el paso de MP a BP se realizará automáticamente, empleando como disparo la señal de nivel de dousing L-8 (Ver punto 3.2.8, pág.15).

3.4. Posibles eventos que disparan el sistema ECC

En todo momento, los sistemas especiales de seguridad (punto 2.1) se diseñan para detectar de forma temprana y sofocar diferentes tipos de fallas postuladas. Así, la lógica de funcionamiento explicada anteriormente (punto 3.3) está preparada para determinar las siguientes fallas de pérdida de refrigerante:

- *LOCA Grande al E/R.* En caso de producirse una pérdida de refrigerante severa hacia el edificio del reactor, la presión en el circuito con falla del SPTC sufrirá una despresurización y además el edificio de contención aumentará su presión por tratarse de una pérdida grande de refrigerante. Estos dos fenómenos serán detectados por los sensores de presión en el SPTC (P-1, P-2, P-201, P-202) y por la señal P-3 situada en el E/R, y ejecutarán la lógica de disparo del ECC (Ver figura 3.2).

- *LOCA con pérdida al Moderador.* Si se produce una pérdida de refrigerante que vierte directamente sobre el moderador, como podría ser la falla de un tubo de presión, el circuito con falla del SPTC sufrirá una despresurización y además subirá el nivel de moderador en la calandria. Nuevamente, el primer fenómeno podrá detectarse con los detectores de presión en el SPTC, mientras que el segundo será reflejado por el sensor de alto nivel de moderador L-203. En caso de detectarse los indicadores mencionados, se ejecutará la lógica de disparo del ECC (Ver figura 3.2).
- *LOCA Pequeño al E/R.* En caso de producirse una pérdida de refrigerante pequeña hacia el edificio del reactor, se despresurizará el circuito del SPTC con falla, pero esto no implica la suba de presión en el E/R. Es por ello que se emplazaron los sensores P-301 y P-302 (Ver punto 3.2.5 y 3.2.6), que dan señal de condicionamiento en caso de detectar una baja presión sostenida en alguno de los circuitos del SPTC. En caso de producirse en simultáneo la señal de baja presión, y la de baja presión sostenida, se ejecutará la lógica de disparo del ECC (Ver figura 3.2).

3.5. Modificaciones en el marco del PEV

Las tareas de modificación de diseño fueron comunes a todos los sistemas involucrados en la CNE, con la finalidad de actualizarlos y cumplir con todos los estándares de calidad vigentes. En el caso particular del sistema ECC, los objetivos del cambio de diseño se orientaron principalmente a mejorar la disponibilidad del sistema, como así también a aumentar su confiabilidad. Entre las tareas realizadas para el ECC podemos mencionar:

1. Modificación / remplazo de válvulas puntuales en los circuitos hidráulicos involucrados, como así también adición de válvulas redundantes para aumentar la confiabilidad.
2. Alimentación calificada sismicamente para las bombas del ECC.
3. Adición de la Instrumentación y Control (I&C) necesaria para la iniciación del ECC usando baja presión sostenida en los colectores del SPTC (la cual se menciona en los puntos 3.2.5 y 3.2.6).
4. Alarmas adicionales para el ECC.
5. Triplicación de la medición de nivel del tanque de rociado para el ECC con agregado de pierna húmeda. Esta triplicación, que aumenta la confiabilidad de la

medición, responde a que el nivel del Dousing deja de ser una señal de indicación, y pasa a ser una señal de disparo. Esta señal condiciona el paso a la etapa de baja presión de inyección de agua (Ver 3.3.1, pág.16).

6. Transferencia automática de operación de media presión a baja presión para el ECC. Dicha transferencia se realiza tomando como referencia la señal de nivel del tanque de rociado (Ver ítem 5).
7. Adición de una línea de agua desde el Sistema de Agua de Emergencia (EWS) al secundario del intercambiador N°1 del ECC.

Para la elaboración del trabajo realizado en el marco de la CEATEN, será de especial importancia el estudio de los lazos de anunciación (alarmas) y de disparo, por lo que todas las modificaciones mencionadas fueron tema de estudio, a excepción de los ítems 1 y 7.

Capítulo 4

Desarrollo del trabajo de tesis en la CNE

4.1. Una solución de importancia para el PEV

A la fecha, los trabajos de extensión de vida están llegando a su fin. Un gran porcentaje del proyecto ya se encuentra terminado y otros trabajos de mantenimiento se encuentran en la recta final de avance. En este marco, podemos mencionar que los lazos de control empleados para iniciar, o condicionar el accionamiento de los sistemas de seguridad ya se encuentran emplazados, y solo queda realizar un “control de lazos”, con la finalidad de asegurar que todos los circuitos de control se encuentren operativos. Un “control de lazo” consiste en la prueba de cada uno de los hilos que conforman el circuito de control y/o disparo, con la finalidad de detectar posibles errores en el cableado, y asegurar que el mismo funcione correctamente.

Documentación de Montaje La documentación con la que cuenta actualmente la CNE es abundante y muy variada, en el caso de la ingeniería de detalle, se cuenta con documentación indispensable para la realización del montaje, podemos mencionar:

- *Planos ED*: Planos eléctricos que muestran los hilos e instrumentos involucrados para cada canal de cada señal (Ver punto 4.5.2, pág.31).
- *Planos GA*: Planos que muestran la ubicación física de los instrumentos. Este tipo de planos presenta vistas del tablero donde se ubicará cada instrumento, y facilita la tarea del personal de montaje.
- *Wiring List*: Reporte organizado por dispositivo (instrumento), que muestra en forma de lista las conexiones del mismo. Este documento enumera los bornes del instrumento dado, especifica el terminal al que el mismo se conecta, y el número de hilo correspondiente a la conexión. Incluye además información sobre

la ubicación de los terminales (recinto y tablero), tipo de cable utilizado, color, etc. En la figura 4.1 podemos ver la Wiring List correspondiente al transmisor de nivel L-8, específicamente el canal K (LT-8K).

From Term	Term	To Tag	Wire No.	Cable or Assoc	Part No.	Seq No.	Color Abbrev	Chan	Inst Resp	Sig Type	Design Area	Last Rev	Status W E S	ECN	Flag
63432-LT-8K1 EXISTING LT-8K LEVEL TRANSMITTER (RELOCATED FROM PL1601) 60720-PL1249 --o/-/-/-- REACTOR BUILDING Room: R-008															
A—N—1		60720-PL1249	3432-4741	AK01P	889C-3	1	R	K	FC	C	NSP	2014/03/13	F 16 41	ECC-B	
B—N—2		60720-PL1249	3432-4742	AK01P	889C-3	2	BLK	K	FC	C	NSP	2014/03/13	F 16 41	ECC-B	
C—N—12		60720-PL1249	3432-4017	AK01P	889C-3	3	GRN	K	FC	C	NSP	2013/01/04	F 16 41	ECC-B	

Figura 4.1: Wiring List de instrumento LT-8K

Como se describió, la documentación disponible se encuentra relevada por instrumento (*Device*) y es de gran utilidad al momento del montaje, pero no es adecuada para realizar un control de los lazos de instrumentación.

Documentación de Control Contar con un Plano P&ID (Piping and Instruments Diagram) es lo óptimo para realizar el control de lazos de instrumentación, ya que contaría con toda la información necesaria en un mismo lugar. Al no disponer de planos de este tipo, sumado a la complejidad que representa elaborarlos, es que surge la necesidad de generar nuevos reportes organizados por número de hilos, que permitan caracterizar rápidamente un lazo en estudio. Estos reportes pueden generarse empleando el software Intec, disponible en una computadora remota de CANDU Energy Inc. La CNE tiene licencia para utilizar dicho software, no solo para generar reportes sobre diversos componentes del reactor, sino también para cargar los cambios de diseño que se realicen, y el grado de avance que tienen los mismos para que las consultas se encuentren siempre actualizadas.

Dados los requerimientos que impone un control de lazos de instrumentación, surge la necesidad de elaborar una herramienta de seguimiento de los mismos que permita acceder rápidamente a toda la información. Esta herramienta deberá incluir reportes generados en Intec, que sistematicen la información por número de hilos. Estos requerimientos se convirtieron en el objeto del trabajo final, realizado de forma presencial en la CNE.

4.1.1. Un software como herramienta de seguimiento de lazos

Luego de realizado un estudio general del funcionamiento de la CNE, y particular de los lazos de control involucrados en el funcionamiento del ECC, se procedió a elaborar un software capaz de brindarnos toda la información necesaria a la hora de realizar un “control de lazo”. Se busco que el mismo posea una interfaz sencilla y ergonómica, orientada a aquellos que lo utilicen a futuro. La base de datos desarrollada brinda las siguientes facilidades:

1. Permite acceder a la información básica de los lazos relevados.
2. Permite acceder al número de canales por lazo, y a diagramas de conexión para cada uno de los canales. Dichos diagramas se dividen en “Circuito de proceso” y “Circuito de Anunciación”, para facilitar la interpretación de los mismos.
3. Permite acceder a Diagramas de bloque (Flowsheet), planos eléctricos, y planos de la lógica de los circuitos de test involucrados en cada uno de los lazos (además de los planos de “Circuito de proceso” y “Circuito de Anunciación” mencionados en el Item 2).
4. Permite acceder al listado de Instrumentos e Hilos involucrados en cada canal de cada lazo relevado.
5. Permite la búsqueda de información completa de un hilo, solo contando con su TAG.
6. El software desarrollado permite ampliar su base de datos, habilitando a ingresar nuevos lazos, como así también agregar canales, hilos o instrumentos a lazos existentes. Para editar la base de datos, es necesario activar el “Modo Editor”, disponible solo a través de una contraseña.
7. Los planos del tipo “Circuito de proceso” y “Circuito de Anunciación” que brinda la base de datos, están previamente modificados para facilitar su lectura, y adaptados para imprimir en formato A2 o A3.

Antes de comenzar el diseño del software se buscaron antecedentes previos de herramientas de control de lazos, o bases de datos que pudieran tener funciones similares al trabajo a realizar, para partir de una base o evitar repetir posibles errores. Se encontró un único trabajo comparable, el cual fue realizado por el Ing. Pablo García en el marco de la CEATEN, haciendo un relevamiento de los circuitos de control de la turbina y el generador. Sin embargo la solución que desarrolló es muy diferente a la elaborada para el control de lazos del ECC.

4.2. Recolección de información para el desarrollo

La etapa más extensa del trabajo, fue la recolección de información de los diferentes lazos de interés. Para ello, se contó con distintas fuentes de información.

1. *Manuales de capacitación de la CNE* [3][4]. Brindaron la información básica sobre los lazos presentes en el ECC. Se trabajó principalmente con el manual 681002, el cual brinda una visión general sobre la seguridad en el reactor, y el 685002, manual

específico del sistema ECC. El mismo detalla el funcionamiento completo del sistema, como por ejemplo la secuencia de iniciación, la instrumentación utilizada, y los lazos de medición empleados, entre otros.

2. *Presentaciones de cambios de diseño.* En las mismas se identificaron aquellos lazos que presentaron modificaciones, y que por ende son de mayor interés para su estudio. Estas presentaciones fueron elaboradas por personal especializado abocado al PEV, con la finalidad de exponer de forma clara los cambios de diseño a realizar, las soluciones técnicas para dichos cambios, y el grado de avance de las tareas de extensión de vida.
3. *Planos modificados.* Planos (eléctricos, lógicos, diagramas de bloque, etc.) con las modificaciones realizadas durante el PEV, correspondientes a los lazos de interés. A partir de los planos eléctricos recolectados, se pudo elaborar una tabla detallada, con los instrumentos y los hilos involucrados en cada lazo relevado. La búsqueda de los planos modificados se realizó empleando una tabla en formato *Excel*, donde se encontraban sistematizados los planos modificados. Aun así, la búsqueda de planos fue una tarea tediosa debido a las limitaciones que presentaba la sistematización, de ahí la utilidad que tiene la elaboración del software en desarrollo.
4. *Planos sin cambios de diseño.* Planos (eléctricos, lógicos, diagramas de bloque, etc.). Algunos lazos no fueron modificados, por lo que sus planos no podían encontrarse empleando la tabla mencionada en el ítem anterior. Todos los planos originales podían encontrarse empleando un Software de gestión de la información (*SmartPlant*) utilizado en la CNE.
5. *Planos de conexión.* Tras obtener un listado de los hilos involucrados en cada lazo, se procedió a descargar el diagrama de conexión de cada hilo desde la base de datos provista por el fabricante (Candu Energy Inc.). Cabe destacar que el acceso a la base de datos mencionada se realizó empleando el software Intec, y a través de un escritorio remoto. Dicha computadora es propiedad de Candu Energy Inc. ubicada en las oficinas de la sede en Toronto, Canadá.

4.3. Diseño de un software ergonómico

Como se mencionó al inicio de la sección, la herramienta a desarrollar se diseña de forma tal que sea de utilidad a la hora de realizar el “Control de Lazo”, esto condiciona su diseño, buscando que se tenga acceso a la información requerida y que se permitan modificaciones de la base de datos sin que esto implique ediciones por error.

Sin embargo, el factor de mayor peso en el diseño es la “ergonomía”, es decir, que la interacción entre el Software y el operador sea lo más clara y sencilla posible.

Para el diseño de la herramienta se optó por utilizar *Microsoft Access*, ya que otorga un fácil manejo de bases de datos, sumado a que permite realizar búsquedas de datos a través de formularios de sencillo diseño. A continuación se analizarán los principales aspectos de la herramienta desarrollada (*Herramienta de Control de Lazos ECC*).

4.3.1. Pantalla de inicio

Al ejecutar *Herramienta de Control de Lazos ECC*, accedemos a una pantalla de inicio como se muestra en la Figura 4.2. En la misma, tenemos acceso a 2 opciones principales de búsqueda:

- Búsqueda por Señal de Disparo (Ver 4.3.2).
- Búsqueda por TAG del Hilo (Ver 4.3.3).

Además, disponemos de un “Modo Editor” (Ver 4.3.4), que nos permite agregar nueva información a la base de datos del programa. Este modo no se encuentra disponible normalmente, y es necesario ingresar una contraseña para activarlo.



Figura 4.2: Pantalla de inicio del Software

4.3.2. Búsqueda por Señal de Disparo

Al seleccionar la opción *Buscar por señal de disparo*, tendremos acceso a una ventana como se muestra en la figura 4.3, donde veremos un cuadro que nos permite elegir la

señal o lazo a analizar. Al seleccionarlo, visualizaremos información básica de la señal, la cual puede ampliarse al hacer *click* sobre el botón “*Buscar Info Señal*”. Esto nos llevará a una segunda ventana (Ver Figura 4.4) donde podremos acceder a:

- Información detallada de la señal, incluyendo un plano de diagrama de flujo.
- Número de Canales en dicha señal, y sus planos correspondientes.
- Información sobre la identificación de los hilos y los instrumentos que componen la señal de medición.



Figura 4.3: Ventana de búsqueda por señal de disparo

4.3.3. Búsqueda por TAG del Hilo


Al hacer click sobre el botón *Búsqueda por TAG del Hilo*, accederemos a una ventana emergente como muestra la figura 4.5, donde podremos buscar un hilo en particular, con solo saber su nombre de identificación completo. En caso de realizar una búsqueda válida, hacemos click sobre el botón “*Buscar Información Hilo*”, y nos llevará a una segunda ventana que despliega toda la información relevante respecto al hilo en cuestión (Ver figura 4.6).

Figura 4.4: Ventana de resultados de la búsqueda por señal de disparo

Figura 4.5: Ventana de búsqueda por TAG del Hilo

4.3.4. Modo Editor

Durante el desarrollo del trabajo en la CNE, se cargaron al software una cantidad importante de datos, correspondientes a las señales que requieren un control de lazo. Sin embargo, resulta necesario que el software desarrollado permita seguir ampliando su base de datos, agregando información sobre nuevos lazos que puedan resultar de interés en un futuro. Es por esto que se crea la sección denominada “Modo Editor”, con la finalidad de permitir la ampliación de la base de datos. Para iniciar el modo editor, es necesario ingresar correctamente la contraseña en el cuadro de texto situado para tal fin, al hacerlo, tendremos a disposición las siguientes operaciones (pueden verse en la figura 4.7):




TAG Hilo

NUCLEOELECTRICA ARGENTINA S.A.

Información de la señal
 Disparo: P-301
 Descripción: Baja Presion sostenida en SPTC

Información del Hilo
 BSI: 3432
 Nombre: 4118
 Canal: L

Hipervínculo a plano ED
<\\fs\PEV\CONTRATOS\AECL\TRANSMITTALS\18RF-CENLE14-0301T\18rf-63432-1003->

Hipervínculos a Diagramas de conexión
[PLANO-HILOS-P301L](#)

Comandos
 Volver a Inicio 
 Volver a buscar 
 Búsqueda por Señal 

Registro: 1 de 1 Sin filtro Buscar

Figura 4.6: Ventana de resultado de la búsqueda por TAG del Hilo

Agregar nueva señal Al seleccionar la opción “Agregar nuevo Lazo/ Canal”, tendremos acceso a una ventana que nos permitirá optar por “Agregar nueva Señal”, que nos permite agregar una señal de disparo nueva.

Agregar nuevo Canal En caso de desear agregar un nuevo canal a una señal existente, o haber creado la nueva señal recientemente, podremos optar por “Agregar un nuevo canal en una señal existente” (tras seleccionar la opción “Agregar nuevo Lazo/ Canal”) y seleccionar el nombre del disparo que deseamos ampliar.

Agregar nuevo Hilo o Instrumento a una señal existente Si ya disponemos de una señal, donde ya hemos cargado todos sus canales, podemos vincular hilos e instrumentos a dichos canales. Esto se logra seleccionando la opción “Agregar nuevo Hilo/ Instrumento”. Allí, debemos elegir nombre de la señal y el canal de interés, y luego cargar la información, se trate de un hilo o un instrumento.

Editar Información Existente Si deseamos editar la información de una señal, o el canal de una señal existente, es posible ingresando a “Búsqueda por señal de disparo” (ver punto 4.3.2), y hacer click sobre la opción editar.



Figura 4.7: Opciones adicionales al activar Modo Editor

4.4. Lazos de instrumentación relevados

Además de crear la herramienta de control de lazos mencionada en el punto 4.3, se realizó la búsqueda de información de una gran cantidad de lazos involucrados en el sistema ECC, como se menciona en el punto 4.2. Se hizo especial énfasis en aquellos lazos que fueron modificados en el transcurso del PEV, y además en aquellas señales que son de disparo (iniciación) o condicionamiento de una acción. A continuación se especifican las señales relevadas:

- P-1 - Medición de baja presión en el lazo 1 del SPTC.
- P-2 - Medición de baja presión en el lazo 2 del SPTC.
- P-201 - Medición de baja presión en el lazo 1 del SPTC.
- P-202 - Medición de baja presión en el lazo 2 del SPTC.
- P-301 - Medición de baja presión sostenida en el lazo 1 del SPTC.
- P-302 - Medición de baja presión sostenida en el lazo 2 del SPTC.
- P-3 - Medición de alta presión en el E/R.
- L-8 - Medición de nivel del tanque de agua de rociado.
- L-11 - Medición de nivel del sumidero de recuperación.
- L-12 - Medición de nivel del sumidero de recuperación.

- L-23 - Nivel de agua en los tanques de Alta Presión.
- L-203 - Medición de nivel del moderador.

(Para ver la descripción de cada una de las señales, ver punto 3.2, pág.14).

4.5. Análisis de lazo a través del Software (P-301)

La utilidad de la herramienta desarrollada radica en la simplicidad a la hora de buscar la información deseada, evitando que al momento de realizar una prueba de lazos, el encargado deba buscar:

- Información de la señal en el manual de operador.
- Planos eléctricos, flowsheet, y lógicos modificados durante el PEV, empleando la tabla de planos modificados mencionada en el ítem 3 del punto 4.2 (pág.24).
- Planos eléctricos, flowsheet, y lógicos sin modificaciones, empleando el Software *SmartPlant* (ver punto 4.2, pág.23).
- Diagramas de conexión de cada uno de los hilos, buscando los hilos de interés en los planos eléctricos, y luego descargando los diagramas empleando el software Intec a través de un escritorio remoto (ver punto 4.2, pág.23).

A continuación se realiza el análisis completo de uno de los lazos de instrumentación, el lazo de medición P-301, a fin de demostrar la practicidad mencionada anteriormente.

4.5.1. Información básica del lazo

Al abrir la ventana *Buscar por señal de Disparo* (Ver pto.4.3.2, pág.25) y seleccionar la señal P-301, se despliega en la misma la siguiente información:

- **Señal de disparo:** P-301.
- **Variable Medida:** Presión.
- **Tipo de señal:** Condicionamiento.
- **Descripción:** Medición de Presión de Lazo 1 del Sistema de Transporte de Calor.

Estos son los datos básicos de la señal elegida. Para obtener la información completa, hacemos click sobre el botón “Buscar Info Señal” (Ver pto.4.3.2, pág.25), que nos llevará a una ventana detallada como se muestra a continuación (fig.4.8). En esta nueva ventana podremos además, acceder al Flowsheet (diagrama de flujo) de la señal en cuestión, ubicado su vínculo en la parte superior derecha.

Señal Disparo - Hilos/Inst

NUCLEOELECTRICA ARGENTINA S.A.

Disparo: P-301 Descripción: Presión Tipo de Señal: Condicionamiento

Descripción: Medición de Presión del Lazo 1 del Sistema de Transporte de Calor

Hervinculo a Flowsheet: 18RF-68338-1001-01-FS-E

Comandos: Volver, Inicio

Planos por Canal | Instrumentos | Hilos

Elegir Canal: K, L, M

Hervinculo a Plano ED: \\fs\PEVA\CONTRATOS\AECL\TRANSMITTALS\18RF-CENLE:

Hervinculo a Diagrama de Conexión: Lazo (Sin Anunciación): PLANO-HILOS-P301K

Hilos de anunciación: PLANO-HILOS-P301K-A

Hervinculo a Plano de Test: 18RF-63432-0004-40-ED-E

Figura 4.8: Detalles de la señal P-301

4.5.2. Planos y Diagramas

Si se desea acceder a la información de cada uno de los canales, se debe elegir la pestaña “Planos por Canal”, donde podremos acceder a los siguientes planos:

Plano ED

Plano eléctrico del canal seleccionado. En la figura 4.9 (pág.32) se muestra una parte del plano eléctrico de la señal P-301 correspondiente al canal K. En el mismo podemos identificar:

- **Instrumentos involucrados.** Los bloques muestran diferentes instrumentos involucrados en el lazo de instrumentación, entre ellos podemos mencionar el Transmisor de la señal (PT-301K), el módulo de anunciación (PA-301K), aislación (PY-301K), indicación (PI-301K) y la fuente de tensión.
- **Hilos involucrados.** El número indicado sobre cada conexión representa el nombre del hilo en cuestión. Allí podemos identificar los hilos que forman parte del lazo del transmisor (Ej. 4018), la alimentación de tensión (4022 y 4023), la señal hacia la indicación (2024 y 2025), y los hilos correspondientes a la anunciación del

canal, que son además los responsables de transmitir la señal de condicionamiento (5340, 5386, 5360 y 5388).

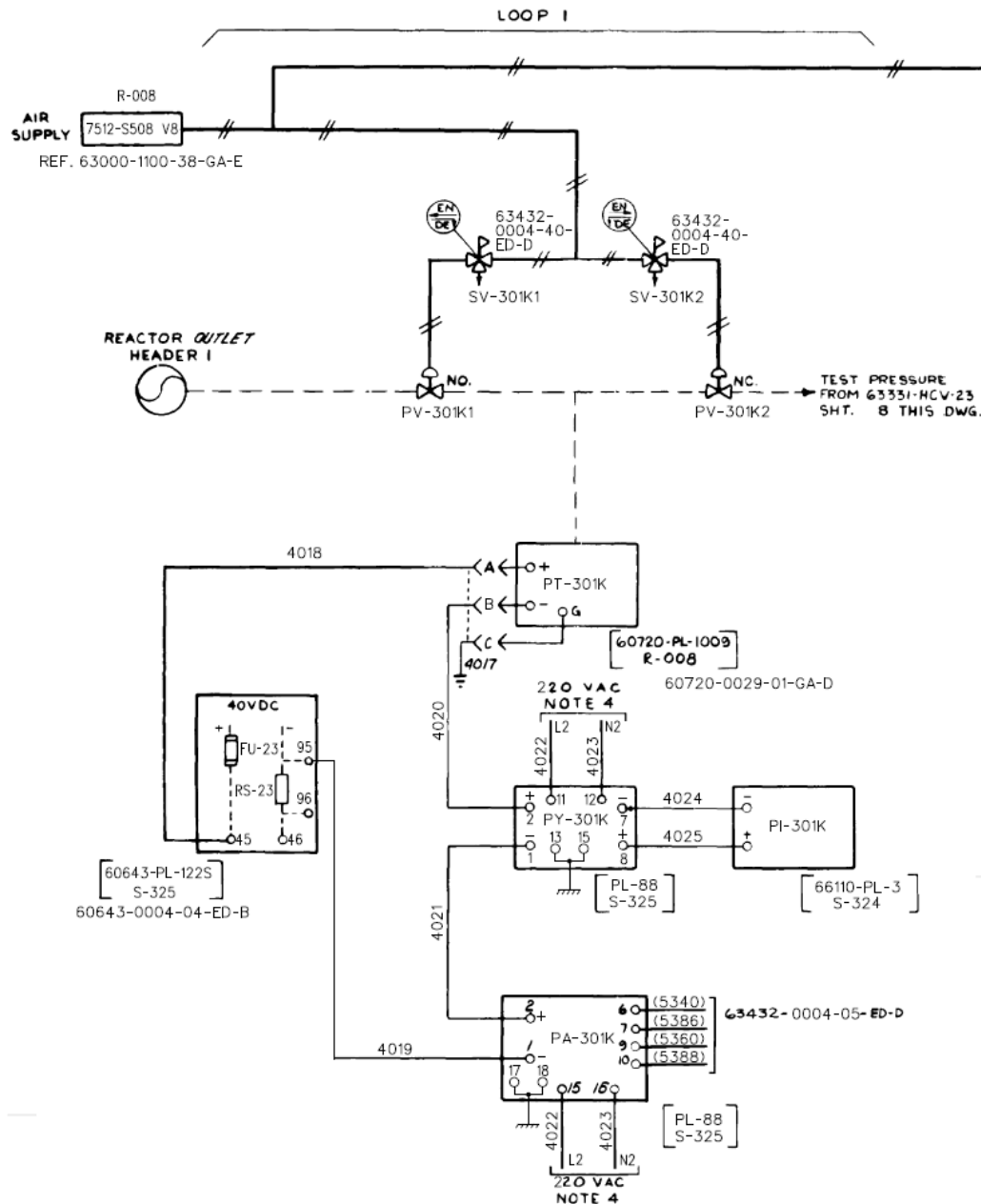


Figura 4.9: Plano Eléctrico (Parcial) de Señal P-301

Particularmente, este plano trae incorporado el diagrama de flujos, agregando al plano eléctrico la siguiente información:

- **Colector 1.** El elemento “Header 1” representa el colector 1 del SPTC del reactor. Desde dicho lugar se toma la señal de presión de refrigerante para el canal K.
- **Tubing.** Es el circuito hidráulico que permite llegar la presión del refrigerante desde el Colector 1 hasta el transmisor de presión PT-301K.

- **Válvulas de aislación.** Los elementos indicados como PV-301K1 y PV-301K2 representan válvulas de aislación del *Tubing*. Las mismas son accionadas neumáticamente.
- **Suministro de Aire.** El suministro de aire se indica como “Air Supply”, y alimenta las válvulas de aislación.
- **Válvulas de Test.** Los elementos indicados como SV-301K1 y SV-301K2 representan electro-válvulas para operar el circuito de prueba del transmisor, y son alimentadas eléctricamente desde una fuente.

Diagrama de conexión, lazo (sin anunciación)

Este plano muestra el diagrama de conexión de todos los hilos involucrados en el canal K (a excepción de los destinados a la anunciación). Esto permite hacer un seguimiento de cada uno de ellos de principio a fin, pudiendo identificar cada una de las borneras y tableros que atraviesa. Cabe destacar que un único hilo puede estar compuesto por una gran cantidad de cables diferentes interconectados entre si. En la figura 4.10 (pág.34) puede verse parte del diagrama de hilos correspondiente al canal K de la señal P-301. Allí podran identificarse, entre otras cosas, los instrumentos (por ej. el transmisor (63432-PT-301K) con el número de tablero donde se encuentra (60720-PL1009), y la ubicación física del mismo (Room [Recinto] R-008).

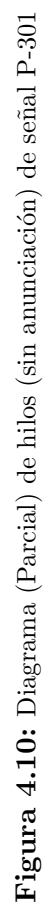


Diagrama de conexión, hilos de anunciación

Al igual que el diagrama de conexión del lazo sin anunciación, se puede hacer un seguimiento de los hilos de principio a fin, identificando cada una de las borneras y tableros que cada uno de ellos atraviesa. En la figura 4.11 (pág.36) puede verse parte del diagrama de hilos de anunciación correspondiente al canal K de la señal P-301.

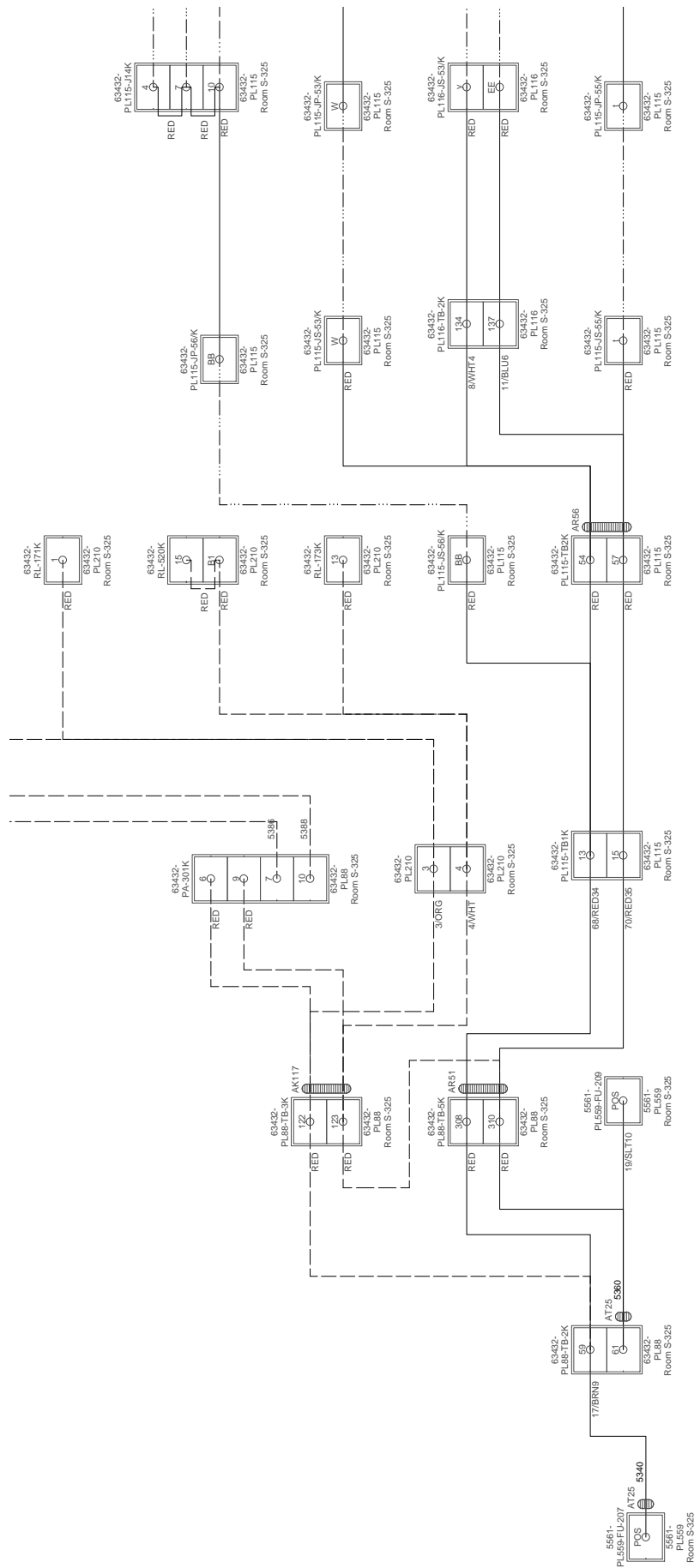


Figura 4.1.1: Diagrama (parcial) de hilos de anunciación de señal P-301

Plano de Test

Este plano muestra el circuito que opera las electro-válvulas correspondientes al lazo de prueba del transmisor. A continuación (figura 4.12, pág.37) se muestra una parte del plano, donde pueden identificarse los relés que energizan las electro-válvulas para darles apertura o cierre según corresponda. Cabe destacar que los planos de test también brindan información sobre los hilos involucrados, así como referencias de los planos vinculados.

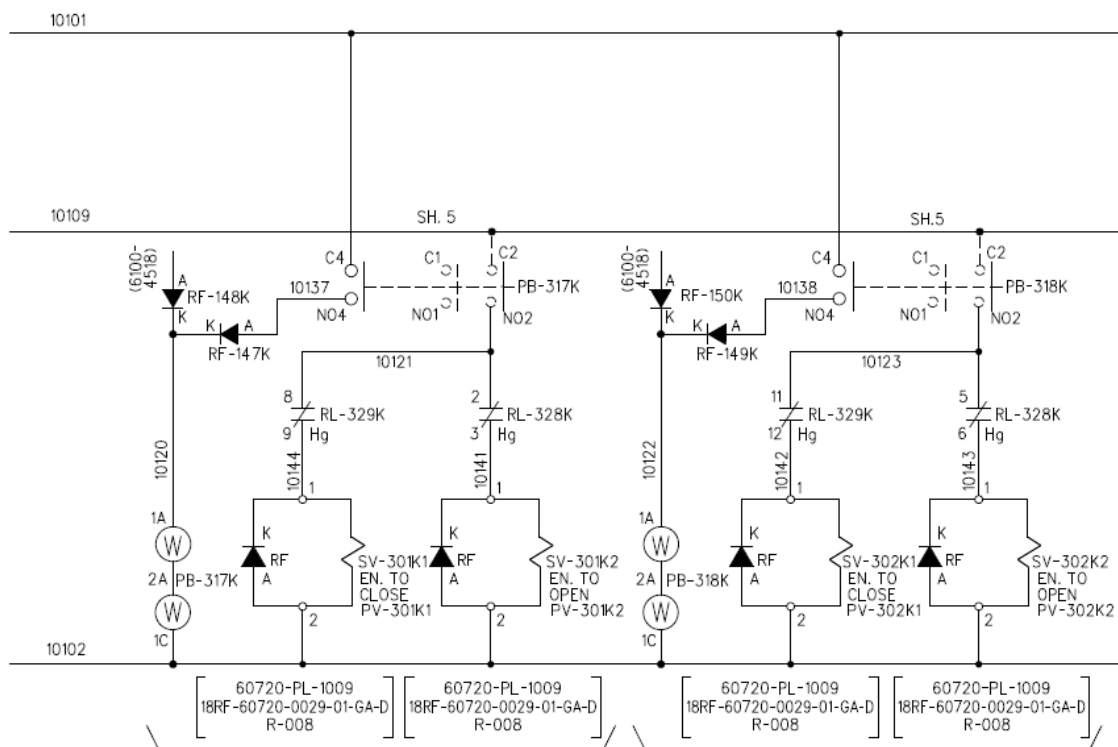


Figura 4.12: Plano (Parcial) del circuito de Test de señal P-301

Plano Flowsheet

Este plano muestra un diagrama del funcionamiento del lazo, mostrando los diferentes procesos, que en general muestran los circuitos hidráulicos y neumáticos, con todas las alimentaciones y válvulas involucradas. Para el caso de la señal P-301, el Plano ED lo incorpora en si mismo (Ver figura 4.9, pág.32) y puede verse en la sección “Plano ED” del punto 4.5.2 (pág.31).

4.5.3. Instrumentos

Si se desea buscar información sobre los instrumentos del lazo P-301, se puede seleccionar la pestaña “Instrumentos” en la ventana de detalles de “Buscar por señal

de Disparo” (Ver figura 4.8, pág.31). Al seleccionar dicha pestaña, se nos presenta la siguiente información: (Fig.4.13):

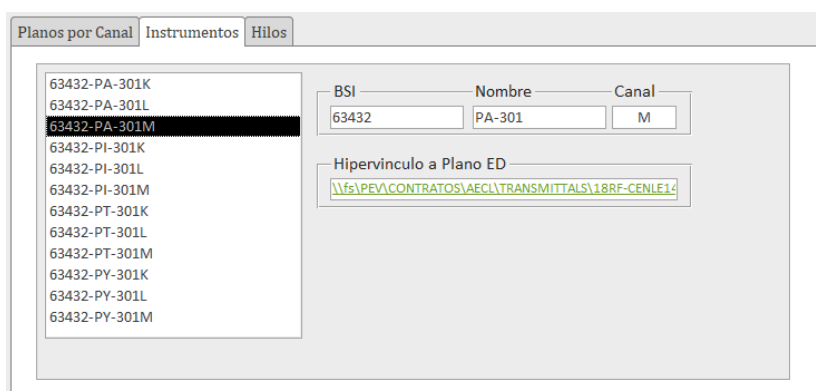


Figura 4.13: Listado de Instrumentos del lazo P-301

Este listado permite seleccionar cualquier instrumento involucrado y a la derecha del mismo, se mostrará el BSI, el nombre y el canal al que pertenece el instrumento seleccionado. Además, podemos acceder al plano ED que muestra la conexión del mismo (Ver punto 4.5.2).

4.5.4. Hilos

Para obtener información sobre los hilos del lazo P-301, se debe seleccionar la pestaña “Instrumentos” en la ventana mencionada anteriormente, lo que brinda una visualización como se muestra a continuación (Fig.4.14):

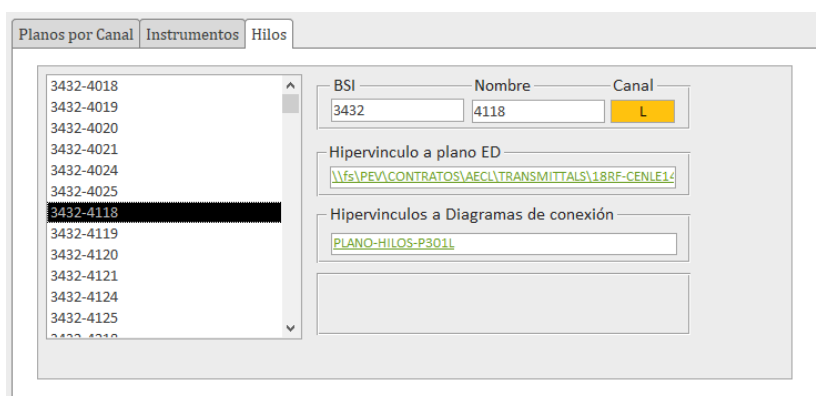


Figura 4.14: Listado de Hilos del lazo P-301

La misma permite seleccionar cualquier hilo involucrado y a la derecha del listado, se mostrará el BSI, el nombre y el canal al que pertenece. Además podemos acceder al plano ED, y a su diagrama de conexión (pudiendo pertenecer a un diagrama de anunciación, o un diagrama de lazo sin anunciación) (Ver punto 4.5.2, pág.31).

4.6. Aplicación práctica

Después de realizar un análisis de su funcionamiento, y de múltiples correcciones bajo el criterio de los Ingenieros Pablo Ariel Olivera (Director de tesis) y Pablo García, se comprobó que la aplicación práctica del software es completamente viable, y se espera que pueda utilizarse durante la etapa de “control de lazos” del sistema ECC a desarrollarse entre marzo y abril de 2018. Además el modo editor del software permitiría la carga de nuevos lazos a probar, sin que necesariamente deban pertenecer al sistema ECC.

Capítulo 5

Cierre del trabajo final

5.1. Conclusión de las tareas realizadas

A pesar del tiempo acotado con el que se contó para realizar el trabajo de tesis, este fue suficiente para obtener resultados positivos. Más allá de cumplir con el objetivo para la aprobación de la carrera de especialización, resulta importante mencionar que el desarrollo alcanzado es completamente funcional, aplicable, y de utilidad para futuras tareas que se llevarán a cabo en la Central Nuclear Embalse en el marco del Programa de Extensión de Vida.

A lo largo de la práctica se realizó satisfactoriamente un análisis de todos los lazos de instrumentación presentes en el sistema de refrigeración de emergencia del núcleo, y luego se desarrolló un software que permita el seguimiento de los mismos, con la finalidad de utilizarse como soporte al momento de realizar las “pruebas de lazos” para cada uno de ellos.

5.2. El plan nuclear argentino desde adentro

Más allá de las cuestiones técnicas y académicas que atravesaron la práctica realizada, es inevitable mencionar las percepciones personales de ser parte en un proyecto único como lo es la extensión de vida de la Central Nuclear Embalse. El proyecto fue un desafío para todas las partes involucradas, requiriendo metodologías y soluciones jamás empleadas.

Llena de orgullo saber que las tareas que se están llevando a cabo son en su mayoría realizadas por empresas nacionales, por técnicos y profesionales argentinos. La apuesta del Estado nacional a llevar adelante el PEV significó una gran inversión, pero los frutos que dejará son mucho mayores, dado que no solo significa la reincorporación de 600 MW eléctricos al sistema interconectado nacional. El PEV implicó generar más de 3000 puestos de trabajo, aportó al desarrollo y crecimiento de la región de influencia,

y sostuvo los más de 700 empleos que la CNE requiere en operación normal.

Al finalizarse los trabajos, el sector contará con nuevos conocimientos, desarrollos, soluciones tecnológicas, y un gran número de técnicos y profesionales altamente calificados. Es destacable el rol indispensable que cumplen estos últimos en la continuidad del plan nuclear argentino, y de ahí la importancia de que el gobierno nacional siga apostando a la energía nuclear para evitar la pérdida de este capital humano, y un consecuente estancamiento del sector como ya sucedió en la década del 90.

Hoy en día, la energía nuclear en Argentina se posiciona como una solución viable a la creciente demanda eléctrica, pero por sobre todas las cosas, como el camino a la anhelada soberanía energética.

Bibliografía

- [1] CAB. Historia de la comisión nacional de energía atómica. URL <https://www.cab.cnea.gov.ar/index.php/noticias-prensa/sala-de-prensa/gacetillas/2-uncategorised/177-historia-de-la-cnea>.
- [2] Observatorio de la energía, tecnología e infraestructura para el desarrollo. renovar 2.0: empresas ganadoras y la degradación de la industria nacional y el empleo argentino. URL www.oetec.org/nota.php?id=2947&area=4.
- [3] NASA. Manual de capacitación para central nuclear embalse. En: 681002 - Filosofía de los Sistemas de Seguridad. 1998.
- [4] NASA. Manual de capacitación para central nuclear embalse. En: 685002 - Sistema de refrigeración de emergencia del núcleo - ECC. 1998.

Agradecimientos

A Pablo Olivera y Pablo García, quienes me guiaron con mucha dedicación y me acompañaron en esta última etapa de la especialidad. Demostraron ser grandes profesionales, y por sobre todo excelentes personas.

A mis compañeros de oficina en la CNE (*Lucas, Guille, José, Mati, Gala, Con-dor, Nacho, Pablo y Nati*), por hacerme sentir parte de un equipo de trabajo, por su disposición, y por los gratos momentos en el *container* con forma de oficina.

A mis compañeros de la CEATEN, por todos los momentos compartidos durante el año. Los mates, el cursado, las tardes enteras en la biblioteca y las noches con cerveza artesanal.

A aquellos que me dieron el empujón para iniciar esta especialidad cuando estuve a punto de desistir.

A mi familia, por su apoyo en cada una de las decisiones tomadas que me convierten en quien soy, y por las bases y valores que me enseñaron y que llevo siempre conmigo. A mis amigos, por su motivación y acompañamiento. Y a mi compañera de vida por su apoyo incondicional, su cariño y alegría.

